

С. Н. Леонович // Вестник БНТУ: Архитектура и строительство. – 2011. – № 5. – С. 47–49.

4. **Баженов, Ю. М.** Проектирование предприятий по производству строительных материалов и изделий / Ю. М. Баженов. – М.: Изд-во АСВ, 2005. – 472 с.

5. **Стаценко, А. С.** Технология бетонных работ / А. С. Стаценко. – 2-е изд., испр. – Минск: Вышэйшая шк., 2006. – 239 с.

6. **Оборудование** для переработки сыпучих материалов / В. Я. Борщев [и др.] // Строительная наука и техника. – 2009. – № 3 (24). – С. 46–52.

7. **Леонович, С. Н.** Основные аспекты экономической эффективности мобильных растворобетонных установок / С. Н. Леонович, С. Л. Карпович // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сб. науч. статей. – Гродно: ГрГУ имени Я. Купалы, 2010. – С. 325–330.

8. **Леонович, С. Н.** Способы снижения стоимости стационарных растворобетонных установок / С. Н. Леонович, С. Л. Карпович // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров: сб. науч. статей. – Гродно: ГрГУ имени Я. Купалы. – 2010. – С. 330–333.

9. **Гуринович, В. Ю.** Перспективы приобъектного приготовления бетонных смесей с использованием мобильных растворобетонных комплексов / В. Ю. Гуринович, А. И. Ольгомец // Главный инженер в строительстве. – 2013. – № 1. – С. 22–28.

10. **Гуринович, В. Ю.** Основные модификации растворобетонных узлов блочно-модульной компоновки / В. Ю. Гуринович, А. И. Ольгомец // Главный инженер в строительстве. – 2013. – № 10. – С. 18–22.

REFERENCES

1. **Afanassiev, A. A.** (1991) *Concrete Works*. Moscow, Vysshaya Shkola, p. 31, 56–60 (in Russian).

2. **Khayutin, Yu. G.** (1991) *Cast-in-Situ Concrete*. Moscow, Stroyizdat, 45–50 (in Russian).

3. **Gurinovich, V. Yu., & Leonovich, S. N.** (2010) Substantiation of Solutions for Complex Reconstruction of Production. *Vestnik BNTU [Bulletin of the Belarusian National Technical University]*, 5, 47–49 (in Russian).

4. **Bazhenov, Yu. M.** (2005) *Designing of Enterprises for Production of Construction Materials and Items*. Moscow, ASV Publishing House. 472 p. (in Russian).

5. **Statsenko, A. S.** (2006) *Technology of Concrete Works*. 2nd Edition. Minsk, Vysheishaia Shkola. 239 p. (in Russian).

6. **Borshchev, V. Ya., Snezhkov, D. Yu., Leonovich, S. N., & Lagun, Yu. I.** (2009). Equipment for Processing of Bulk Materials. *Stroitel'naya Nauka i Tekhnika [Construction Science and Technology]*, 3 (24), 46–52 (in Russian).

7. **Leonovich, S. N., & Karpovich, S. L.** (2010) Main Aspects of Economic Efficiency of Mobile Concrete-Mortar Units. *Perspektivy Razvitiia Novykh Tekhnologii v Stroitel'stve i Podgotovke Inzhenernykh Kadrov. Sb. Nauch. Statei [Prospects for Development of New Technologies in Construction and Training of Engineering Personnel. Collection of Scientific Papers]*. Grodno, Grodno State University Named After Ya. Kupala, 325–330 (in Russian).

8. **Leonovich, S. N., & Karpovich, S. L.** (2010) Methods for Cost Reduction of Stationary Concrete-Mortar. *Perspektivy Razvitiia Novykh Tekhnologii v Stroitel'stve i Podgotovke Inzhenernykh Kadrov. Sb. Nauch. Statei [Prospects for Development of New Technologies in Construction and Training of Engineering Personnel. Collection of Scientific Papers]*. Grodno, Grodno State University Named After Ya. Kupala, 330–333 (in Russian).

9. **Gurinovich, V. Yu., & Olgomets, A. I.** (2013) Prospects for Preparation of Concrete Mixes in the Vicinity of an Object Under Construction While Using Mobile Mortar-Concrete Complexes. *Glavny Inzhener v Stroitel'stve [Chief Engineer in Construction]*, 1, 22–28 (in Russian).

10. **Gurinovich, V. Yu., & Olgomets, A. I.** (2013) Main Modifications of Mortar-Concrete Stations Having Modular-Block Line-Up. *Glavny Inzhener v Stroitel'stve [Chief Engineer in Construction]*, 10, 18–22 (in Russian).

Поступила 23.03.2013

УДК 625.855.3

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДОРОЖНОМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИИ

Докт. техн. наук, проф. КОВАЛЕВ Я. Н.

Белорусский национальный технический университет

E-mail: kov-nata@mail.ru

Активационные технологии дорожно-строительных материалов, рассмотренные в едином комплексе, представляют собой новое прогрессивно развивающееся научное направление в транспортном материаловедении. Сущность активационной технологии материалов заключается в интенсивном повышении физико-химической активности их

компонентов на границах раздела фаз, что реализуется в различных технологических переделах. Установлено, что все материалы, независимо от их природы и агрегатного состояния, являющиеся в нормальных условиях химически пассивными, при определенных режимах обработки могут стать химически активными. Это позволяет использовать малоактивное дешевое кремнеземистое сырье и техногенные отходы производства для создания на их основе прочных композиционных материалов.

Развитие активационных технологий твердо- и жидкофазных компонентов дорожных композиционных материалов постепенно трансформируется в специальную часть материаловедческой науки – капрологию. Последняя призвана разрабатывать теорию и решать прикладные задачи, направленные на эффективное использование техногенных отходов производства в качестве дешевых источников сырья для получения широкого ассортимента строительных материалов общего и специального назначений. Дальнейшая задача исследований заключается в техническом совершенствовании и разработке технологического оборудования для активации твердых, жидких и газообразных компонентов дорожных композиционных материалов. При этом все технологические решения должны быть подчинены общей цели – достижению оптимальных структур получаемых материалов, обеспечивающих их долговечность при минимальных ресурсных затратах и максимальной охране окружающей среды.

Ключевые слова: межфазные контакты, битумоминеральные системы, активация, энергия связи.

Библиогр.: 16 назв.

INNOVATION TECHNOLOGIES IN ROAD CONSTRUCTION MATERIAL SCIENCE

KOVALEV Ya. N.

Belarusian National Technical University

Activation technologies of road construction materials considered in a single package represent an up-to-date progressively developing scientific and research direction in the transport material science. The essence of the activation technology for materials lies in an intensive increase of physical and chemical activity of their components in the interphase boundaries that is realized in various technological conversions. It has been established that being chemically passive under normal conditions all the materials, irrespective of their nature and aggregate state, can be chemically active under specific conditions. Such approach makes it possible to use low-active cheap silica raw material and technogenic production wastes for creation of strong composite materials on their basis.

Development of the activation technologies for solid- and liquid –phase components of road construction composite materials is gradually transformed in a special branch of material science that is coprology. The branch is presupposed to develop a theory and solve applied problems directed on efficient usage of technogenic production wastes as cheap raw material source for obtaining a wide range of construction materials for general and special application. Further investigation is to execute a technical modernization and develop technological equipment for activation of solid, liquid and gaseous components of road construction composite materials. In this respect all technological solutions should serve for general purpose that is to ensure optimum structures of the obtained materials that provides their longevity with minimum resource expenses and maximum level of environmental protection.

Keywords: interphase contacts, bitumen-mineral systems, activation, bond energy.

Ref.: 16 titles.

Основную материаловедческую проблему связывают два противоречивых требования: качество (К) дорожно-строительных материалов (прочность и долговечность) должно быть максимальным, а стоимость (С) – минимальной: $C_{\min} \rightarrow \leftarrow K_{\max}$. Практически разрешению этого противоречия в дорожном материаловедении и посвящены вся существующая наука и ее технические приложения в этой области. В статье затронуты лишь отдельные фрагменты указанной проблемы. Прежде всего следует отметить, что и первое, и второе требования тесно связаны с технологическим аспектом до-

рожного материаловедения и его научным сопровождением.

Дорожное материаловедение является фундаментом технического прогресса в дорожной отрасли. В научном плане оно базируется на положениях фундаментальной науки: физики твердого тела, физической и коллоидной химии, реологии и механики разрушения композиционных материалов, работающих в сложных эксплуатационных режимах. При этом исследование поверхностных явлений на границе раздела фаз требует проникновения в микромир контактной зоны, изучаемой на атомно-молеку-

лярном уровне [1]. И это не «экзотика» (как полагают некоторые) методологического подхода, а реальная потребность поставить исследования дорожно-строительных материалов на более высокий уровень науки и техники. Указанное требование исторически оправдано. Пройден длительный эволюционный путь развития дорожного материаловедения, зависящего напрямую от экономического базиса, когда и уровень техники был низким, и доминирующим фактором являлось количество, а не качество. Так, с 1930-х гг. в течение многих лет в технологии приготовления асфальтобетонных смесей использовали смесители свободного перемешивания (типа Г-1), которые не могли дать качественного перемешивания компонентов. В настоящее время на современных АБЗ работают смесители с динамическим перемешиванием и аэрозольным вводом вяжущего (фирма Vibau), а технологический цикл почти полностью автоматизирован. И хотя существующий уровень технологии АБЗ кажется многим самодостаточным, с точки зрения научного видения проблемы он не является пока совершенным, поскольку не гарантирует высокого качества смеси в сочетании с низкой себестоимостью. По мнению автора, сейчас не хватает прорывных технологических решений, позволяющих не только готовить качественные и низкостойкие полуфабрикаты, но и строить дороги с применением новых сборных конструктивных элементов дорожных одежд, изготовленных по современным технологиям в стационарных условиях [2].

Поскольку дорожное строительство требует значительных материальных и энергетических затрат, на первый план также выдвигается проблема ресурсосбережения. Она должна стать главной при осуществлении любой программы снижения себестоимости применительно к любому виду дорожно-строительной продукции. Решение проблемы ресурсосбережения в дорожной отрасли может идти двумя путями: первый основан на поиске резервов (совершенствовании) традиционных технологий, второй реализуется на основе разработки и внедрения принципиально новых (прорывных) технологий [3, 4]. Как известно, весьма прогрессивным научным направлением в современном материаловедении является нанотехнология,

которая предложена, прежде всего, для получения металлических и полимерных материалов и изделий. Эта технология декларируется как современное направление при получении конструкционных материалов с минимумом микронеоднородностей и приближающим реальную прочность инженерных изделий к теоретической прочности. Из таких целевых установок родился в свое время знаменитый принцип академика П. А. Ребиндера: «Путь к высшей прочности материалов – через их разрушение» [5, 6]. Метод предполагает разрушение естественно-природной структуры материала, устранение микронеоднородностей при тонком диспергировании и последующее создание из полученного вещества нового материала интегрированной бездефектной структуры. По такому пути пошла порошковая металлургия и дезинтеграторная технология [7]. Академиком П. А. Ребиндером показано, что появление в структуре реальных тел микронеоднородностей различных типов, стимулирующих разрушение материалов даже при пониженных напряжениях, во многом связано с несовершенством проектирования составов и технологии. Профессор Н. Б. Урьев также отмечает, что одной из доминирующих причин значительного различия (часто на несколько порядков) в свойствах бездефектных твердых тел и реальных материалов является несовершенство технологических процессов получения последних [8]. Это относится, прежде всего, к процессам, которые включают операции измельчения, обработки поверхности частиц исходных компонентов, смешения их с вяжущими (гомогенизация), транспортирования и уплотнения смесей. Поэтому вопросам оптимизации технологии производства материалов с минимумом структурных неоднородностей придается огромное значение технологами-исследователями во всем мире. Теоретическое объяснение образования дефектности, образующейся на технологической стадии, сейчас найдено. Оно заключается в следующем.

Появление микронеоднородностей в структуре готовых материалов (в рассматриваемом случае асфальто- и цементобетонов) – следствие проявления определенных особенностей в структуре высококонцентрированных дисперсных систем (смесей) на стадии их приготовления. Основные структурные особенности

этих систем проявляются при сочетании сильно развитой межфазной поверхности S и большой концентрации твердой дисперсной фазы D в жидкой дисперсионной среде небольшого объема. Главное следствие такого сочетания S и D выражается в том, что в концентрированных системах самопроизвольно возникают термодинамически устойчивые пространственные микроструктуры (кластеры), образуемые за счет сцепления мельчайших частиц дисперсных фаз между собой [9]. Для получения однородных структур с минимумом микрон неоднородностей необходимо точно определять соотношение между потенциальной энергией взаимодействия (сцепления) разнофазных частиц и кинетической энергией, передаваемой этим частицам в процессе технологического передела (например, смешения с вяжущим) [8].

При создании прочных бездефектных структур дорожных бетонов необходимо, чтобы технология получения таких материалов обеспечивала:

- 1) максимально возможное межфазное сцепление структурных компонентов;
- 2) равномерное распределение твердой фазы в дисперсионной среде, объем которой всегда несравненно меньше, чем объем твердой фазы.

Исходя из вышеизложенных положений, общими проблемными задачами, определяющими дальнейший технический прогресс в технологии производства дорожно-строительных композиционных материалов, можно считать [3]:

- 1) увеличение физико-химической поверхностной активности взаимодействующих фаз на границе их раздела;
- 2) достижение максимальной однородности (однородности) перерабатываемых смесей, особенно при смешении и уплотнении многокомпонентных систем;
- 3) соблюдение принципа минимальной энергоемкости всех технологических процессов и в особенности сокращения продолжительности тепловых процессов при подготовке органических вяжущих с целью уменьшения их старения.

Решение перечисленных выше трех задач вполне достижимо с помощью современных технических средств, и это подтверждает исторический опыт в области технологии получе-

ния материалов. Действительно, на протяжении 200 лет в области технологий были известны и использовались в основном три классических приема:

- 1) механическое и химическое диспергирование (измельчение, растворение) исходных материалов;
- 2) изменение температуры и давления;
- 3) применение различных катализаторов, ускоряющих физико-химические процессы.

Только сравнительно недавно (30–40 лет тому назад) появился не менее важный новый технологический прием – активация жидких и твердофазных материалов, резко усиливающая их адгезионное взаимодействие на хемосорбционном уровне.

Исследования показали [3], что для любых композиционных материалов применим следующий принцип обеспечения их прочности:

$$E_{\text{стр}} > E_{\text{в.с}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{стр}}$ – энергия связи структурных компонентов композиционного материала (на границе раздела фаз); $E_{\text{в.с}}$ – то же факторов внешней среды (механические транспортные нагрузки и погодноклиматическое воздействие).

При этом технологическое обеспечение неравенства (1) должно соотноситься с экономическим принципом, т. е. $E_{\text{стр}} \equiv E_{\text{ак}}$, где $E_{\text{ак}}$ – энергия, затрачиваемая на активацию компонентов дорожно-строительных материалов. Она должна корреспондироваться с требуемой структурной прочностью композита $E_{\text{стр}}$. Из (1) следует, что надежная работа дорожного покрытия возможна лишь при наличии у его материала некоторого запаса энергии структурных связей, т. е. если $E_{\text{стр}} - E_{\text{в.с}} = +\Delta E$. Исходя из этого можно считать, что в случае, если $\Delta E \geq 0$, активация компонентов предпочтительна, но не обязательна, а если $\Delta E < 0$, то она необходима. В зависимости от эксплуатационного режима работы инженерной конструкции, где используются традиционные бетоны или другие композиты, следует установить не только необходимость проведения активации компонентов тех или иных материалов, но и точное значение величины ΔE , определяющей вид и энергоемкость активационных процессов.

Промышленное освоение методов активации строительных материалов стало возмож-

ным благодаря ряду теоретических и экспериментальных работ, выполненных различными отечественными и зарубежными исследователями (Е. Г. Аввакумов, П. Ю. Бутягин, Л. Б. Гезенцев, В. А. Золотарев, В. А. Каргин, Я. Н. Ковалев, И. А. Рыбьев, В. И. Соломатов, Н. Б. Урьев, Г. Хайнике, И. А. Хинт, Г. Джоуст и др.) [10–13].

Теоретическим фундаментом активационных технологий является физико-химическая механика дисперсных материалов, на основе теоретических положений которой в БНТУ сформировалось новое научное направление в дорожном материаловедении – «Физико-химические основы активации твердо- и жидкофазных компонентов дорожных строительных материалов и создание эффективных технологий для их получения» [3]. При этом ядро активационных технологий – это электрон-ионная технология, которая базируется на ряде известных физических явлений: электрогидравлическом, трибоэлектрическом и эффекте вихревого слоя.

Такой (первый) путь повышения качества и ресурсосбережения в дорожной отрасли открывает принципиально новые перспективы использования некондиционного минерального (кремнеземистого) сырья и различных техногенных отходов промышленности. При этом резко сокращается стоимость конечной дорожно-строительной продукции как за счет снижения транспортных расходов, так и за счет сравнительно низких затрат при использовании местных или утилизированных материалов по сравнению с затратами на приобретение новых, дефицитных.

Вторым, не менее важным путем энергосбережения, являются анализ и реструктуризация теплоэнергетического хозяйства производственных предприятий дорожной отрасли, где используется теплоэнергетическая технология при производстве смесей (АБЗ) или прогрев готовых конструкций (заводы бетонных и железобетонных конструкций и полигоны).

Третьим, перспективным и совершенно новым (прорывным), является путь автономного круглогодичного приготовления асфальтовяжущего вещества на отдельных цехах и его доставки на АБЗ по мере потребности в выпуске асфальтобетонных смесей заданного объема. Это позволит исключить из состава АБЗ сложное энергетическое хозяйство для приема, хра-

нения и подготовки битумов при их подаче к смесителю, а также сложное складское хозяйство для минерального порошка. Полученные предварительные результаты по капсулированию битумов (БНТУ) и гранулированию асфальтовяжущего вещества (БНТУ, БелдорНИИ) показали перспективность таких разработок [14, 15].

Повышение качества и ресурсосбережения в дорожной отрасли должно быть основано на более расширенном использовании результатов фундаментальных наук. Представления о необходимости применять результаты фундаментальных наук при решении инженерных задач менялись на протяжении десятилетий и в различных областях прикладных дисциплин были востребованы по-разному и не всегда адекватно. Например, в 1962 г. число ученых, работающих в области физики твердого тела и информационной технологии применительно к материальному производству, составляло всего несколько сотен человек во всем мире. Сегодня данные дисциплины оказывают решающее влияние на развитие многих отраслей науки и техники, а число ученых, работающих в этих областях науки, составляет десятки тысяч человек. Чем же объяснить подобный феномен? В известной мере на этот вопрос можно получить ответ, пользуясь представлениями лауреата Нобелевской премии И. Пригожина – выдающегося ученого в области физики неравновесных процессов [16]. По его теории, любая изучаемая система движется по определенной траектории развития, на которой появляются особые точки (бифуркации), где траектория в силу неравновесности разделяется на ветви. Причем все ветви теоретически равновозможны, но только одна из них, в силу объективных или субъективных причин, будет реализована на практике, т. е. станет доминирующей в данный момент времени. Нечто подобное можно проследить при анализе развития технологии получения дорожных и других композиционных материалов.

Действительно, вначале все минеральные материалы, используемые в бетонах, считались инертными, и только сравнительно недавно, в 1960-е гг., было показано, что путем специальной механохимической обработки заполнители начинают играть чрезвычайно активную

структурирующую роль в композитах, повышая их прочность и долговечность в несколько раз. В природе все осреднено, и флуктуации (случайные отклонения физических величин от средних статистических), наблюдаемые при исследованиях на микроскопическом уровне, ответственны за выбор той ветви, которая возникает в точке бифуркации (по И. Пригожину), т. е. в точке причинного отклонения события от общепринятых представлений. Именно точки бифуркаций определяют на временной шкале траектории развития то событие, которое накопило критические потенциальные возможности и которое обязательно произойдет, ожидая лишь «созревшие» для этого условия реализации. Рассматривая эволюционный путь развития технологий строительных материалов с позиции неравновесных процессов, можно утверждать, что точки бифуркаций являются одновременно показателями (своеобразным барометром) нестабильности и жизненности какого-либо явления: в данном случае – рождающейся новой технологии.

Как показывает мировой опыт, фундаментальные разработки являются приоритетными, поскольку здесь возникает возможность прорыва в новые технологические области. Такой подход особенно актуален, когда нужно экономить во всем, но держать марку качества. Применительно к решению проблем дорожного материаловедения роль фундаментальных наук должна быть переосмыслена по-новому. Однако необходимо учитывать, что их уровень определяется уровнем квалификации кадров, занятых в технологических областях. Именно поэтому стремление повысить качество и энергосбережение в дорожной отрасли должно стимулировать подготовку научных и инженерных кадров высокой квалификации, способных создавать и реализовывать новые эффективные технологии.

В заключение можно отметить следующее. Решение проблем дорожного материаловедения непосредственно связано с уровнем использования положений фундаментальных наук. Такое содружество является основой прорывных технологий, повышающих одновременно качество продукции и ресурсосбережение. Именно такая концепция должна стать ведущей

идеологией теоретических и прикладных исследований в дорожном материаловедении в XXI ст.

Дальнейшая задача исследований заключается в техническом совершенствовании и разработке технологического оборудования для активации твердых, жидких и газообразных компонентов дорожных композиционных материалов. При этом все технологические решения должны быть подчинены общей цели – достижению оптимальных структур получаемых материалов, обеспечивающих их долговечность при минимальных ресурсных затратах и максимальной охране окружающей среды.

ВЫВОД

В зависимости от эксплуатационного режима работы инженерной конструкции, где используются дорожные композиты, нужно расчетом обосновывать необходимость проведения активации тех или иных их компонентов. Основа применяемых при этом активационных технологий – это электронно-ионная технология, базирующаяся на ряде известных физических явлений: электрогидравлическом, трибоэлектрическом эффектах и эффекте вихревого слоя. Такой путь открывает принципиально новые перспективы использования техногенных отходов производства в качестве дешевых источников сырья для получения широкого ассортимента строительных материалов общего и специального назначений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковалев, Я. Н. Межфазные контакты в битумоминеральных системах и их усиление / Я. Н. Ковалев // Наука и техника. – 2014. – № 5. – С. 3–9.
2. Давыдов, В. Н. Изготовление изделий из асфальтобетонных смесей: учеб. пособие / В. Н. Давыдов. – М.: Изд-во АСВ, 2003. – 208 с.
3. Ковалев, Я. Н. Активационные технологии дорожных композиционных материалов / Я. Н. Ковалев. – Минск: БелЭн, 2002. – 336 с.
4. Витязь, П. А. Высокие технологии и наноматериалы в строительной индустрии / П. А. Витязь, В. Г. Горбцов // Строительная наука и техника. – 2009. – № 6. – С. 4–16.
5. Ребиндер, П. А. Физико-химическая механика / П. А. Ребиндер. – М.: Знание, 1958. – 64 с.

6. Физико-химическая механика дисперсных структур: сб. статей / Академия наук СССР; отв. ред. П. А. Ребиндер. – М.: Наука, 1966. – С. 3–16.

7. Хинт, П. А. Основы производства силикалитных изделий / И. А. Хинт. – Л.: Госстройиздат, 1962. – 256 с.

8. Урьев, Н. Б. Высококонцентрированные дисперсные системы / Н. Б. Урьев. – М.: Химия, 1980. – 319 с.

9. Соломатов, В. И. Физические особенности формирования структуры композиционных материалов / В. И. Соломатов, В. Н. Выровой // Известия вузов. Строительство и архитектура. – 1984. – № 8. – С. 59–64.

10. Аввакумов, Е. Г. Механические методы активации химических процессов / Е. Г. Аввакумов. – Новосибирск: Наука, Сиб. отд., 1979. – 304 с.

11. Бутягин, П. Ю. Исследования элементарных процессов при механо-химических превращениях в полимерах: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / П. Ю. Бутягин. – М., 1966. – 20 с.

12. Хайнике, Г. Трибохимия / Г. Хайнике. – М.: Мир, 1987. – 582 с.

13. Гезенцев, Л. Б. Асфальтовый бетон из активированных минеральных материалов / Л. Б. Гезенцев. – М.: Стройиздат, 1971. – 255 с.

14. Жуковин, М. Г. Гранулированное асфальто вяжущее для горячих асфальтобетонных смесей / М. Г. Жуковин // Автомобильные дороги и мосты. – 2006. – № 1. – С. 47–49.

15. Ковалев, Я. Н. Модификация битума полиэтиленовой оболочкой и технология производства асфальтобетона на его основе / Я. Н. Ковалев, В. Н. Романюк // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2008. – Вып. 40. – С. 45–47.

16. Гленсдорф, П. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуации / П. Гленсдорф, И. Пригожин. – М.: Мир, 1973. – 280 с.

REFERENCES

1. Kovalev, Ya. N. (2014) Interphase Contacts in Bitumen-Mineral Systems and Their Strengthening. *Nauka i Tekhnika* [Science and Technique], 5, 3–9 (in Russian).

2. Davydov, V. N. (2003) *Fabrication of Road-Concrete Mix Products*. Moscow, ASV Publishing House. 208 p. (in Russian).

3. Kovalev, Ya. N. (2002) *Activation Technologies for Road Construction Composite Materials*. Minsk: Bel-En [Belarusian Encyclopedia Publishing House]. 336 p. (in Russian).

4. Vityaz, P. A., & Gorobtsov, V. G. (2009) High Technologies and Nano-Materials in Construction Industry.

Stroitel'naya Nauka i Tekhnika [Construction Science and Equipment], 6, 4–16 (in Russian).

5. Rebinder, P. A. (1958) *Physical and Chemical Mechanics*. Moscow, Znanie. 64 p. (in Russian).

6. Rebinder, P. A. (1966) *Physical and Chemical Mechanics of Dispersive Structures. Collection of Papers*. Moscow, Nauka, 3–16 (in Russian).

7. Hint, I. A. (1962) *Principles for Fabrication of Sili-Calcite Products*. Leningrad, Gosstroyizdat. 256 p. (in Russian).

8. Uriev, N. B. (1980) *Highly-Concentrated Disperse Systems*. Moscow, Khimia. 319 p. (in Russian).

9. Solomатов, V. I., & Vyrovoy, V. N. (1984) Physical Peculiarities of Composite Material Structure Formation. *Izvestia Vuzov. Stroitelstvo i Arkhitektura* [News of Higher Education Institutions. Construction and Architecture], 8, 59–64 (in Russian).

10. Avvakumov, E. G. (1979) *Mechanical Methods for Activation of Chemical Processes*. Novosibirsk, Nauka, Siberian Branch. 304 p. (in Russian).

11. Butiagin, P. Yu. (1966) *Issledovaniia Elementarnykh Protssessov pri Mekhano-Khimicheskikh Prevrashcheniakh v Polimerakh*. Avtoref. Dis. Doktora Tekh. Nauk [Investigation of Elementary Processes in Mechanical and Chemical Polymer Transformations. Author's Abstract of Dissertation for Doctor of Science [Engineering]]. Moscow. 20 p. (in Russian).

12. Heinicke, G. (1984) *Tribochemistry*. Berlin, Academy-Verlag. (Russ. ed.: Heinicke, G. (1987). *Tribokhimiia*. Moscow, Mir. 582 p.).

13. Gezentsvei, L. B. (1971) *Asphalt Concrete from Activated Mineral Materials*. Moscow, Stroyizdat. 255 p. (in Russian).

14. Zhukovin, M. G. (2006) Granulated Asphalt Binder for Hot Asphalt-Concrete Mixes. *Avtomobilnye Dorogi i Mosty* [Automobile Highways and Bridges], 1, 47–49 (in Russian).

15. Kovalev, Ya. N., & Romaniuk, V. N. (2008) Bitumen Modification with Polyethylene Coating and Technology for Fabrication of Asphalt Concrete on its Basis. *Vestnik Khar'kovskogo Natsional'nogo Avtomobil'no-Dorozhnogo Universiteta*. [Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University]. Kharkov, 40, 45–47 (in Russian).

16. Glensdorf, P., & Prigozhin, I. (1971) *Thermodynamic Theory of Structure, Stability and Fluctuations*. New York, Wiley-Interscience. (Russ. ed.: Glensdorf, P., & Prigozhin, I. (1973) *Termodinamicheskaia Teoriia Struktury, Ustoichivosti i Fluktuatsii*. Moscow, Mir. 280 p.).

Поступила 30.12.2014